

## Barsebæck og det værst officielt-tænkelige uheld

Sørensen, Bent

*Publication date:*  
1982

*Document Version*  
Også kaldet Forlagets PDF

*Citation for published version (APA):*  
Sørensen, B. (1982). *Barsebæck og det værst officielt-tænkelige uheld*. Roskilde Universitet.  
<http://milne.ruc.dk/lmfufaTekster/>

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain.
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact [rucforsk@kb.dk](mailto:rucforsk@kb.dk) providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# TEKST NR 47

# 1982

BENT SØRENSEN

BARSEBÄCK OG DET VÆRST OFFICIELT-TÆNKELIGE UHELD

## TEKSTER fra

## IMFUFA

**ROSKILDE UNIVERSITETSCENTER**  
INSTITUT FOR STUDIET AF MATEMATIK OG FYSIK SAMT DERES  
FUNKTIONER I UNDERVISNING, FORSKNING OG ANVENDELSER

## BARSEBÄCK OG DET VÆRST OFFICIELT-TÆNKELIGE UHELD

af Bent Sørensen

### ABSTRACT

Regeringen overvejer om den skal fremsætte forslag i Folketinget, om at der optages forhandlinger med Sverige med det formål at afvikle atomkraftværket ved Barsebäck. Forslaget vil ligge i forlængelse af en række danske og svenske politikeres udsagn om at Barsebäck-værket er fejl-placeret, samt Miljøministeriets i slutningen af 1981 offentliggjorte landforureningsrapport, der opruller et yderst graverende perspektiv af tvungen fraflytning fra store dele af Sjælland, kombineret med kassering af landbrugsprodukter, spuling og måske overasfaltering af byområder samt afskrælning af de øverste 20 cm af parcelhus-haver, alt sammen i kølvandet af et "værst tænkeligt" uheld på Barsebäck-værket. For at begrænse de samfundsøkonomiske konsekvenser foreslås yderligere at folk skal rejse ind i det forurenede område hver dag for at passe deres arbejde, samt at store mængder folk skal udkommanderes til havegravning og arbejde med kloak og affaldsbehandling, i usikkerhed om og givetvis frygt for omfanget af den risiko, som radioaktiviteten medfører.

Her skal ydermere redegøres for, hvordan begrebet "værst tænkeligt uheld" gang på gang er blevet ændret, efterhånden som konsekvensernes omfang er gået op for de implicerede myndigheder og deres rådgivere, først og fremmest fra forsøgsanlægget Risø.

## Risiko-filosofi

Ideelt set vurderer et samfund alternative teknologier ved at søge alle virkninger af de enkelte systemer belyst, for derefter demokratisk at debattere afvejningen af de forskellige påvirkninger, som ofte er af helt forskellig karakter for forskellige teknologiske løsninger på et givent problem. Dernæst forkastes - stadig ideelt set - teknologier, hvis negative påvirkninger ikke skønnes opvejet af fordelene (dvs. af det formål som teknologien tjener), eventuelt ved at omforme ønskerne der fremkaldte behovet for ny teknologi. Hvis der endelig er flere teknologier, som har overlevet den første frasortering, søges deres negative og positive påvirkninger sammenlignet og den mest acceptable udvalgt.<sup>1</sup>

En påvirkningskategori er ulykker frembragt af visse teknologier. Her kommer begrebet "vørst tænkelię ulykke" ind i den første frasorteringsproces: Hvis en teknologi kan tænkes at føre til påvirkninger, fx. ulykker, der er uacceptable for samfundet, så må en sådan teknologi forkastes uanset dens nyttevirkning. Det er altså ikke sådan, at når bare fordelene er større end ulemperne, så kan teknologien accepteres. Der er en tærskelværdi for størrelsen eller omfanget af ulemperne, som ikke må overskrides.

I praksis er der selvfølgelig en glidende overgang mellem påvirkninger, ulykker, som samfundet vil acceptere og dem som samfundet ikke vil acceptere. Betegnelsen "vørst tænkelię ulykke" er også flydende fordi "tænkelię" indebærer en individuel eller kollektiv vurdering af, hvor stor en ophobning af uheldige omstændigheder som man vil inddrage i analysen. Når det derfor gælder at afgøre, hvorvidt en "vørst tænkelię ulykke" for en given teknologi overskrider samfundets vedtagne tærskel for, hvad der er acceptabelt, så indebærer denne afgørelse altså en dobbelt usikkerhed: om hvad der er tænkeligt og om hvad der er acceptabelt.

Disse grænser må og skal fastsættes gennem en åben debat i samfundet.

### Barsebäck - den værst tænkelige ulykke

Barsebäck anlægget består idag af to kogende-vands reaktorer, hver med en effekt på ca. 1700 megawatt, hvoraf maksimalt omkring en tredjedel er i form af elektricitet. Resten er varme, som afleveres til omgivelserne, først og fremmest kølevandet.

I det delvist udbrændte reaktorbrændsel ophobes store mængder af radioaktive materialer. Ved et alvorligt uheld vil de radioaktive stoffer frigøres fra de brændselselementer, hvori de befinder sig, og vil bane sig vej fra reaktorkernen, gennem dennes indeslutning ud i reaktorbygningerne, og derfra ud til omgivelserne. De rørsystemer, som under normal drift transporterer varme fra reaktorkernen til de el-producerende turbiner, kan i uheldssituationer føre en del radioaktivitet ud fra kernen, ligesom der ved en smeltning af kernen kan tænkes flere veje ud til omgivelserne.

Den værst tænkelige ulykke kan beskrives ved en kombination af et stort udslip fra den ulykkesramte reaktor og uheldige vejr-situationer, som fører store dele af den udslupne radioaktivitet til steder, hvor mennesker direkte eller indirekte kan blive påvirket af strålingen fra det radioaktive materiale (indirekte fx. ved intagelse af radioaktivt forurenset føde).

Uheldstype 1: Reaktortanken revner som følge af en dampekspllosion i kernen, som nedsmelter eller er nedsmeltet. Radioaktivt materiale kan derfor undslippe i store mængder over et kort tidsinterval. Op til ca. halvdelen af reaktorens radioaktive materialer kan tænkes udsluppet i atmosfæren.

Uheldstype 2: Reaktorens kølesystemer virker ikke og kernen smelter ned og undslipper gennem utætheder. En betydelig del af kernens radioaktive materiale kan tænkes at undslippe til atmosfæren (omend mindre end for uheldstype 1), men udslippet vil begynde senere og forløbe langsommere end for uheldstype 1.

Vejrtype 1: Tørvejr med stor luftstabilitet og lav vindhastighed i retning mod København. Den radioaktive røgfane udbreder sig som følge af den stabile luft kun langsomt i såvel vertikal som horisontal retning. Netop efter at have tilbagelagt de 20 km til Københavns havnefront når røgfanens underdel jorden, så indånding og afsætning på jorden kan finde sted. I vandret retning kan udbredelsen være lille, radioaktivitets-koncentrationen derfor stor således at et begrænset område modtager en høj strå-

lingsdosis. Eller også kan udbredelsen af røgfanen være større, hvorved et større område forurenes med radioaktivitet, omend i mindre koncentrationer. Det værste tilfælde svarer til en horisontal spredning, som giver maksimale helbredseffekter i den danske befolkning.

Vejrtype 2: Netop når den radioaktive sky når Københavnsområdet, begynder en mild regn. Den radioaktive sky antages at blive helt inkorporeret i kondenserende vanddamp. I regnområdet øges den horisontale spredning, og det radioaktive materiale afsættes med regnen i et tempo (karakteriseret ved en udvaskningskoefficient) som indenfor mulige grænser giver størst helbredsskade. Regnen antages at være så "mild" at der ikke sker væsentlig bortskylning af radioaktivitet til kloaker under regnforløbet.<sup>2</sup>

Uheldstype 2 kan i nogle tilfælde give større skadevirkninger end uheldstype 1, afhængig af vejr-situationen. En væsentlig størrelse til bestemmelse af disse forhold er for vejrtype 1 tørdeponeringshastigheden, som for en radioaktiv røgfanen der bevæger sig langs en given overflade (mark, skov, forstad, by osv.) angiver den brøkdel af radioaktiviteten i en terning luft, der pr. tidsenhed afsættes på terningens grundflade (altså den flade af terningen, som ligger op mod den betragtede overflade). Ved vejrtype 2 giver uheldstype 1 størst skadevirkning.

#### Officiel dansk holdning indtil Rasmussen-rapporten

Kontaktordningen mellem Sverige og Danmark (repræsenteret ved forsøgsanlægget Risø) i forbindelse med planlægningen og opførelsen af det første Barsebäck-værk var totalt mørklagt for befolkningen, og først da elselskabet ELSAM i december 1971 meddelte, at man snarest ønskede udpeget 4-5 byggepladser for atomkraftværker i Jylland-Fyn området, begyndte det officielle Danmark at interessere sig for reaktorsikkerhed.

Resultatet af ELSAMs initiativ var Miljøministeriets første placeringsrapport, som udkom i januar 1974<sup>3</sup>. Rapportens overvejelser om reaktorulykker er et fængslende kuriosum af sprogløshed og naivitet, hvis hovedkonklusion Miljøministeriet måtte dementere i 1976.

Beregningerne bag placeringsrapporten og bag Miljøministeriets beredskabsplan for Barsebäck fra 1975 blev foretaget på Risø, som efter flere opfordringer udleverede de foretagne beregninger til OOA (Organisationen til Oplysning om Atomkraft) og til en kritisk forsker.

Beregningsgrundlaget er beskrevet i en rapport fra januar 1975, som er påtrykt "Denne rapport må ikke offentliggøres eller komme til uvedkommendes kendskab". Denne procedure er karakteristisk for Risø, som åbenbart ikke mener at reaktorsikkerhed vedkommer offentligheden. Rapportens konklusion er imidlertid ikke fortrolig, men blev flere gange udtrykt offentligt af Risø: Selv ved den værst tænkelige ulykke på Barsebäck vil der ikke i København kunne forekomme doser over 1 rad.<sup>4</sup>

Den uheldstype, som giver anledning til denne konklusion, er den såkaldte "Design Basis Accident", dvs netop en ulykke, som reaktoren er konstrueret med henblik på at kunne modstå. For Barsebäck er omfanget af denne ulykke fastsat af de svenske myndigheder i forbindelse med behandling af Sydkrafts koncessionsansøgning. Der frigøres en beskedent del af reaktorens jod og ædelgasser, ingen andre stoffer. Altså en ulykke af betydeligt mindre dimensioner end de to i afsnittet ovenfor beskrevne.

Hvad angår de vejrtyper, som indgår i Risøs beregning, er dosis fra passage og indånding af den radioaktive sky beregnet med antagelse af en meget stabil atmosfære over Øresund, samt en lav vindhastighed, som giver størst dosis. Over København antages stabiliteten at brydes, og ved beregning af landforureningen antages faktisk, at der er et regnområde over København (mens der ikke var regn over Øresund, som kunne udtynde skyen før den nåede byen). Dette svarer altså til den ovenfor beskrevne vejrtype 2.

#### Risø-M-1905, den danske Rasmussenrapport

Den stærkt opreklamerede Rasmussen rapport (WASH-1400<sup>5</sup>) blev endnu før den var udkommet udråbt til grundlaget for Risøs fremtidige reaktorsikkerhedsberegninger. Den viste sig at bryde med hidtidig officiel ulykkes-opfattelse (i USA og andetsteds) ved at opstille en række ulykkeskategorier langt alvorligere end Design Basis Accident, med de to som ulykkestype 1 og 2 ovenfor beskrevne som de alvorligste (udslippet i ulykkestype 1 dog be-

grænset til 19% af kernens indhold af radioaktive stoffer). Rapporten forsøgte også at beregne sandsynligheden for ulykker i de forskellige kategorier, men disse beregninger anses ikke for at være realistiske<sup>6</sup>.

Risøs rapport på basis af Rasmussen-rapportens uheldstyper, omend med udslippene af radioaktivitet justeret til Barsebäck reaktorernes størrelse, blev udsendt i januar 1977<sup>7</sup>. De meteorologiske beregninger og beregningen af radioaktivitets-doser, som menneske på Sjællandssiden ville modtage, skete ved hjælp af Risøs egne modeller.

Der betragtes ikke vejrsituationer (som vejrtype 2), hvor de meteorologiske forhold ændres undervejs, og størrelsen af tør-deponerings-hastighed og udvaskningskoefficient bliver fastsat en gang for alle. Modsat de ovenfor beskrevne forskrifter for vejrtyper, som giver værst tænkelige situationer, vil i tilfælde af regnvejrs således allerede en del af radioaktiviteten udvaskes over Øresund, ligesom kombinationen af nedslagspunkt og spredning i vandret retning ikke som under min vejrtype 1 beskrevet er valgt at svare til den situation, der giver de alvorligste konsekvenser.

Risø-modellen behandler det radioaktive udslip som en røg-fane, som vokser jævnt i dimensioner, efterhånden som den kommer længere og længere væk fra udslipsstedet. Denne model er ikke pålidelig for afstande på adskillige kilometre, og der vil typisk være forskelle mellem beregnede og virkelige doser som illustreret i figur 1. Det ses at doser på et givent sted kan være endog meget forskellige fra de beregnede, og at selv gennemsnit over områder af betydelig udstrækning kan afvige med en anseelig faktor.

Modellens beskrivelse af landforurening ved hjælp af et enkelt tal, tør-deponerings-hastigheden, forudsætter at landoverfladen er flad og af ens beskaffenhed, altså hvis der er græs skal der være græs over det hele, og hvis der er etagebyggeri skal der være etagebyggeri over det hele. Risø-M-1905 undersøger virkningen af at ændre deponerings-hastigheden indenfor de grænser, med hvilket den angives at være kendt. Dette fører til dosis-forskelle 20 km fra Barsebäck, hvor den største er 40 gange større end den mindste. Effekten af at variere deponerings-hastigheden i takt med terrænets variationer (vand, by, landområde) undersøges ikke.

Det antages at dosis fra den passerende, radioaktive sky reduceres med 40%, fordi de fleste mennesker statistisk set op-



holder sig indendøre. Da denne antagelse ikke behøver at være rigtig på det kritiske tidspunkt, er her tale om en afvigelse fra filosoffien om at beskrive den værst tænkelige ulykke. Mens ulykkestyperne i modsætning til tidligere nu stort set svarer til hvad de fleste vil acceptere som svarende til betegnelsen "værst tænkelig", er dette ikke længere nødvendigvis tilfældet med vejrtyperne og befolkningsfordelingen. Ydermere anvendes modelbetragtninger, som indebærer en betydelig usikkerhed. Det forekommer derfor, at den værst tænkelige ulykke måtte defineres som den med de største skadevirkninger indenfor usikkerheds-intervallet<sup>8</sup>.

Doserne fra den på jorden afsatte radioaktivitet reduceres med 80% med henvisning til, at meget af det radioaktive materiale vil være gemt i terrænets ruhed, og at en stor del af strålingen derfor vil absorberes i selve overfladen. De 80% er relativt til den stråling, som en opretstående person ville få fra en uendelig, glat flade. Hertil er at sige, at den "ruhed" som indgår i modellen jo repræsenterer tilstedeværelsen af beplantning, bygninger og meget mere. Nogle af disse flader vil, hvis de er belagt med radioaktivt materiale, give en større bestråling af en person, som befinder sig i landskabet, end en udstrakt, ru men vandret overflade ville give.

Befolkningen antages i Risø-M-1905 at forlade området efter 24 timers forløb, men doserne ved hhv. 8 og 72 timers ophold angives også. Den værste ulykke findes at være ulykkestype 1 i en regnvejssituation, og de beregnede doser er 24, 57 og 130 rad ved henholdsvis 8, 24 og 72 timers ophold i området med størst risiko (nær kysten lige overfor Barsebäck). Hvis der ikke blev taget hensyn til afskærmningsreduktionen ville den største dosis ved 72 timers ophold i byen blive 620 rad. Det tilsvarende tal for ulykkestype 2 er 310 rad, her for en vejrsituation som vejrtype 1.

Figur 2 viser omfanget af berørte områder for den værst tænkelige ulykke, anno 1977, med afskærmning og fraflytning efter 72 timer.

#### Landforurening - hvad kan (tør?) tænkes i 1981?

Ved årskiftet 1978/79 nedsatte Miljøstyrelsen en arbejdsgruppe, som skulle se på landforurening ved forskellige Barsebäck uheld med vindretning mod Danmark. Landforureningens aspekter havde

været behandlet, fx i Rasmussen rapporten, men vigtigheden af de mere langsigtede følger af radioaktiv forurening af et stort landområde, også ved mindre omfattende reaktorulykker end den værst tænkelige, var blevet kraftfuldt fremført af Nordens førende strålingsforsker, Bo Lindell<sup>9</sup>, og taget op af andre forskere, bl.a. i USA<sup>10</sup>. Ove Nathan fra Københavns Universitet gjorde opmærksom på landforureningen i den danske Barsebäck debat, og han fik plads i arbejdsgruppen, som iøvrigt bestod af repræsentanter for ministeriet og fra Risø. Rapporten forelå i november 1981<sup>11</sup>, med en mindretalsudtalelse fra Ove Nathan, som så sig nødsaget til at tage afstand fra resten af rapporten i sin helhed.

Her er virkeligt sket et skred i arbejdsgruppens (minus O.N.) opfattelse af det værst tænkelige uheld. Uheldstyperne bygger stadig på Rasmussen rapporten, men med den ændring, at den værste ulykke (type 1) er udeladt. Dette begrundes på side 44 med, at "en dampekspllosion med den nødvendige styrke til at forårsage et sådant brud anses i dag ikke for at være fysisk mulig". Der gives ingen litteraturhenvisning som kunne støtte dette udsagn.

Sagen er den at reaktorfysikere de sidste ti år har været delt i dette spørgsmål. Nogle har hele tiden ment, at selv en kraftig dampekspllosion ikke kunne få reaktortanken til at revne. Dampekspllosionens mulige omfang har ikke hidtil kunne fastslås med sikkerhed, da beregningen af de involverede kemiske reaktioner indenfor reaktorens komplicerede geometri er yderst vanskelig og de foreliggende resultater derfor usikre. Andre har ligeså vedvarende hævdet, at uheldstype 1 ikke måtte udelukkes. Dels fordi der under alle omstændigheder opstår mindre revner i reaktortanken, hvis størrelse ikke kendes nøjagtigt for en reaktor i drift. Og er der allerede ansats til revnedannelse, så kræves naturligvis mindre kraft for at adstedkomme en så stor revne, at væsentlige udslip af radioaktivitet herigennem kan finde sted.

Det må formodes, at landforureningsrapportens udsagn baserer sig på nogle svenske rapporter, som igen hviler på amerikanske undersøgelser foretaget før Rasmussen rapporten. Der er altså ikke fremkommet nyt materiale, som Rasmussen & Co. ikke kendte til og som indgik i deres vurdering af, at uheldstype 1 måtte tages med. Det er altså falskt, når landforureningsrapporten foregiver, at der idag skulle findes oplysninger som gør det muligt at udelukke uheldstype 1.

Det bliver endnu værre, når rapporten på side 18 antyder, at

også uheldstype 2 er "fysisk umulig". Udover at være letfældig omgang med udtrykket "fysisk umuligt" er her igen tale om et brud på de (uskrevne) regler for videnskabelig hæderlighed, idet der heller ikke her given nogen henvisning til tilgængelig litteratur, men blot hævdes at den nævnte "antydning" stammer fra 3 anonyme kemikere i USA. Som Ove Nathan fremhæver i sin mindretalsudtalelse, har ansvarlige miljømyndigheder taget afstand fra, at der skulle være sket nogen ændring i vurderingen af reaktorulykkes mulige omfang.

Hele historien minder om, hvordan Risø i tiden op til Rasmussen rapportens fremkomst udsprede rygter om rapportens konklusion, idet Risø gennem sine kilder kunne fastslå en risiko for kernedensmeltning, som da Rasmussen rapporten senere blev offentliggjort viste sig at være 50 gange for lille<sup>12</sup>.

De doser, som der ifølge landforureningsrapporten kan blive tale om på Sjælland, fremgår af figur 3. Kun dosen fra radioaktivitet afsat på overflader er medtaget (altså ikke stråling fra den radioaktive skys passage eller fra indånding af radioaktivt materiale), men bidraget er opsummeret over 30 år for personer som opholder sig i området. De største doser er 140 rem,<sup>4</sup> og rapporten foreslår evakuering af op til en million mennesker (hele det tonede område på figur 3) efterfulgt af dramatiske rensningsforanstaltninger, før tilbageflytning kan finde sted. Antallet af mennesker, der evakueres, afhænger af hvilken dosis man i gennemsnit (de nøjagtige forhold kendes jo ikke, cf. figur 1) vil acceptere. Der arbejdes med kriterier på 10, 3 og 0,5 rem pr. måned, omend det sidste kriterium nedprioriteres.

Fig. 3 viser at den valgte vejrtype (for uheldstypen 2) ikke svarer til den tidligere definerede værst tænkelige, og heller ikke er identisk med den i Risø-M-1905 rapporten anvendte. Den maksimale dosis findes først i 40 km afstand fra Barsebäck. Årsagen til denne ændring fra tidligere er uden tvivl de anvendte tør-deponeringshastigheder. Mens Risø-M-1905 anvendte værdien 1 cm/sek overalt, benytter landforureningsrapporten værdien 2 cm/sek for landområder og 0,2 cm/sek for vej- og byområder. Dvs at der i de sidstnævnte områder afsættes langt mindre radioaktivitet, hvorved doserne naturligtvis bliver mindre.

Risø bygger den ny beregningsmetode på den fra målinger velkendte tendens til, at deponeringshastigheden på ru flader er større end den er på glatte flader. Når alle byområder imidlertid

regnes som glatte overflader, mener jeg at Risø misforstår ruhedsbegrebet. Det almindeligvis i meteorologien anvendte ruhedsbegreb (som Risøs egen meteorologiafdeling anvender i andre sammenhænge, fx Vindatlas) betragter ruhed som et udtryk for den forhindring, et landskab eller en overflade byder en forbipassende luftstrøm, med havoverflader som de mest glatte, græs og tilplantet mark som mere ru flader, parcelhusområder endnu mere ru og højhusbebyggelse som den mest ru kategori.

Når målinger derfor viser, at afsætning af radioaktive materialer er større på homogene, plane overflader med ru struktur end på tilsvarende glatte overflader (fx henholdsvis græs og asfalt), så er det nærliggende at drage den slutning, at afsætningen vil være størst i byområder som følge af deres makroskopiske ruhed. Risø antager at deponeringen her vil være mindst, fordi den mikroskopiske ruhed, målt fx på en enkelt mursten i en husmur, er lille. Afsætningen er i virkeligheden resultatet af komplicerede forhold, hvor luftstrømmen i bystrukturen giver anledning til større og mindre hvirvler, hvor den nogle steder bremses og andre steder accelereres. Disse forhold kendes fra placering af støv og sne i indviklede mønstre på byoverflader. Konkrete målinger under storbyforhold findes næppe for de partikelstørrelser, som karakteriserer det radioaktive materiale.

Det må således formodes, at den kraftige reduktion af forureningen i netop de tætbefolkede byområder, som Risø opnår ved at nedsætte deponerings-hastigheden til 0,2 cm/sek, ikke udspringer af videnskabelige overvejelser.

Afskærmningsreduktionen er også ændret siden M-1905 rapporten. Ved ophold udendørs er den sænket til 50%, dog 75% under transport i biler, tog mv. Ved indendørs ophold er afskærmningen sat til langt højere værdier end tidligere: 98,5% på arbejde og 89 til 96,4% i forskellige typer bolig.

Denne afskærmning er stadig relativ til en uendelig udstrakt, flad overflade, og det vil sige, at de overvejelser, som ligger til grund for de nye værdier, ikke tager hensyn til radioaktivitet som befinder sig i vinduessprækker, på modstående husmure, på buske og træer udenfor huse og på anden måde hævet fra jordoverfladen. Ligesom ved beregningen af tør-afsætningen er der ikke taget hensyn til den forøgelse i effektiv overflade, som beplantning og bygningsstrukturer giver anledning til. Kun grundarealet indgår.

Det virker tvivlsomt, om de modforanstaltninger, som landforureningsrapporten foreslår, virkeligt vil kunne gennemføres. Hjelpepersonale til evakuering, 1200 mennesker til spuling af veje, personale til opretholdelse af vigtige funktioner i det radioaktivt forurenede område, chauffører til transport i området (folk antages jo stadig at tage ind i området for at arbejde, hvis gennemsnitsdosis ikke forventes at overstige 0,5 rem pr. uge), alt dette forventes at fungere. Altså at de implicerede mennesker er villige til at tilsidesætte hensyn til egen sundhed som følge af en reaktorulykke i Sverige, som de færreste danskere vil føle noget udpræget medansvar for. Rapporten taler om en tilfældig dosis på 50 rem til hjælpepersonale. På visse lokaliteter kan det givetvis også blive svært at sikre sig mod overskridelser. Radioaktiviteten er jo langt mere ujævnt afsat end modelberegningerne angiver (figur 1). I rapporten beregnes dosis-hastigheden til 1 rem i timen i visse kloakledninger, og op til 270 rem i timen i slammet der ophobes ved Lynettens rensningsanlæg (faldende til 10 rem i timen efter 2 måneders forløb).

Opgravning af et spadestik's jord på parcelhusgrunde antages at ske ved frivillig arbejdskraft (parcelhusejerne selv) i et tempo af 50 kvadratmeter pr. dag. Bortset fra de psykologiske aspekter af således at skulle ødelægge års arbejde, er det nok de færreste husejere, hvis konstitution tillader opnåelsen af de  $50 \text{ m}^2/\text{dag}$  opgravet jord med gamle rodnet fra buske og træer, i jord som det meste af året enten er tør eller frossen. Arbejdet foregår under radioaktive buske og træer, indtil de også er fældet, dvs. i strålingsforhold uden de betydelige afskærmningsfaktorer, som iøvrigt indgår i rapportens vurderinger. Altså på den ene side antages folk næsten altid at opholde sig indendøre, og på den anden side udkommanderes de til at arbejde udendørs i tidsrum som nemt kan overstige hvad der kan opnås af de professionelle gravere med deres  $7 \text{ m}^2$  i timen. Gravearbejdet antages at starte den 15. dag efter ulykken.

I landbruget forudsættes i de betragtede modforanstaltninger et års produktionsstop for levnedsmiddelproduktionen på Sjælland, evt. også på Fyn. Som eventuel supplerende foranstaltning betragtes kassering af foderafgrøder og efter et års forløb omlægning af landbruget til udelukkende at dyrke byg til svinefoder. De psykologiske virkninger hos forbrugere i svineimportlande betragtes ikke, og de økonomiske konsekvenser af Barsbäck ulykker kan

alene af denne grund være kraftigt undervurderet.

De direkte virkninger af den radioaktive skys passage nævnes kort i landforureningsrapporten som givende gennemsnitlige doser op til 5 rem pr. person for ulykkestype 2. Det er vanskeligt at vurdere, om dette svarer til de højere værdier for dosis fra sky-passage og indånding, som beregnes i Risø-M-1905 rapporten (henholdsvis 13 og 20 rad), men der er jo også sket ændringer i tørdeponerings-hastighed og i afskærmningsfaktorer.

### Konklusion

I ovenstående behandling er et antal punkter i de hidtidige "officielle" behandlinger af følgerne af et Barsebäck uheld draget frem og diskuteret. Skal den officielle holdning i grove træk søges uddraget af detaljerigdommen, finder jeg det nyttigt at fokussere på den officielle holdning til selve begrebet "det værst tænkelige uheld", som optræder som en rød tråd gennem rapporterne. Dog må det ikke glemmes, at landforureningsrapporten er en rapport fra en arbejdsgruppe, og den mere "officielle" reaktion herpå i form af Miljøministeriets tilkendegivelse af sit syn på Barsebäck reaktorernes fortsatte eksistens endnu ikke foreligger.

Det ses at der for hvert nyt rapportarbejde er tale om en ændring af begrebet den værste, officielt tænkelige Barsebäck ulykke. Disse ændringer følger i grove træk et mønster, som kan beskrives ved, at hvis konsekvenserne af det på et givent tidspunkt som værst tænkeligt anset uheld viser sig at blive større end den "officielle" myndighed mener at kunne forsvare som acceptabel, så ændres definitionen af hvor slemt, "man" kan tænke sig at det vil gå. Da beregningerne med tiden har påvist stadig nye og større, evt. hidtil upåagtede, konsekvenser, har det været nødvendig gang på gang at fastslå, at den værst tænkelige ulykke ikke længere var officielt tænkelig, men kun den næst-værste. Senere er så den næst-værste ulykke blevet officielt utænkelig, og kun den næst-næst-værste ulykke bliver herefter betragtet. Og så videre.

I den tidlige fase, da omfanget af udslippet fra en reaktorulykke blev vurderet som meget beskedent, var der intet i vejen for, at man officielt kunne tænke sig kombinationer af uheldige

vejromstændigheder. Da så Rasmussen-rapporten havde fastslået, at store udslip kunne forekomme, så begyndte man at interessere sig officielt for, om de værste vejr-situationer ikke forekom så sjældent at de kunne udelukkes, for om man dog ikke havde overvurdere, hvor meget af radioaktiviteten som ville blive afsat på jordoverfladen, om det der blev afsat ved regnvejr ikke også ville blive skyllet bort igen, om afskærmning ikke ville reducere doserne, og endelig om folk nu virkelig døde og fik kræft af de doser, som hidtil var antaget at beskrive helbredskonsekvenserne. Altsammen interessante problemer, som imidlertid blev behandlet i febrilske forsøg på lige netop at reducere doserne til et niveau, som man troede acceptabelt. Omkring 1975-77 gik denne debat om den værst acceptable ulykke i meget høj grad på spørgsmålet om, hvorvidt der ville kunne forekomme doser på Københavnssiden, der ville føre til akutte dødsfald, og ændringerne i forudsætninger om vejr-situationer, fx. i M-1905 rapporten, er netop sådanne, at der ikke vil forekomme akutte dødsfald.

Siden blev debatten imidlertid drejet mere over på langtids-virkningerne, hvor antallet af kræfttilfælde synes at kunne beregnes uden de usikkerheder, der knytter til fastsættelsen af grænserne for udbredelse af netop den tærskeldosis, der kunne føre til akut død. Da det så blev klart, at antallet af kræfttilfælde i de efter ulykken følgende 30 år ville blive uacceptabelt store, og at ændringer i vejrparametre og sammenhænge mellem doser og helbredsvirkninger ikke lod sig ændre tilstrækkeligt, ja så var der ikke andet at gøre end at påstulere, at den værst tænkelige uheldstype (type 1) ikke længere var tænkelig.

Det er allerede klart, at de ved denne nye antagelse opnåede resultater i landforureningsrapporten, med dens nøjere opremsning af virkningerne, ikke blot kræftskader men samfundskonsekvenser i bredere forstand, enten af ulykken eller af forsøgene på at mindske konsekvenserne, også vil forekomme mange uacceptable, og at en ny ændring i officiel definition af det værst tænkelige uheld derfor er på vej. Landforureningsrapporten har allerede lagt op hertil ved dens udokumenterede antydning af, at uheldskategori 2 måske heller ikke er officielt "fysisk mulig".

På et eller andet tidspunkt går det vel op for de officielle myndigheder, at denne leg ikke kan fortsætte, og at det ingen mening har at tale om et "værst tænkeligt" uheld, når der er lagt

så mange bånd på tankevirksomheden. Alternativet er da at indrømme, at der er lagt en ny risiko-filosofi til grund for de officielle vurderinger. Altså at de i afsnittet herom ovenfor beskrevne retningslinjer ikke mere gælder, men at risikoen blot i middel skal være acceptabel, altså at enhver ulykke kan accepteres, når blot sandsynligheden for dens indtræffen er passende lille.

Herved bringes diskussionen over i spørgsmål om beregning af sandsynligheder for diverse uheld. Dette emne er langt mere uafklaret end konsekvensberegningerne, og der er således langt videre spillerum for politiske fortolkninger. Videnskabelige metoder har været bragt i anvendelse, bl.a. Rasmussen-rapportens sandsynligheds-beregninger, men det har endnu ikke været muligt at opnå talmæssige resultater, som der kan fæstes nogen som helst lid til <sup>13</sup>. Så snart sandsynligheden for en reaktorulykke af en vis kategori kommer ned under én ulykke på 10000 år (summen af driftår for reaktorer af samme konstruktion), så drukner beregningerne i usikkerheder og sandsynligheder på dette niveau eller lavere kan derfor ikke bruges til risikovurdering.

I den første del af dette skrift blev det fremhævet, at fastsættelse af risiko-filosofi og definition af hvad der skal anses for de "vørst tænkelige" ulykke, må ske gennem en åben debat i samfundet. Det forekommer, at de forskellige officielle danske fastsættelser af værst tænkelige uheld i forbindelse med Barsebäck reaktorerne, og i særdeleshed de gentagne ændringer i begrebet "værst tænkeligt uheld" ikke er resultatet af en åben, offentlig debat. Nok har der fundet offentlige debatter om disse forhold sted, men der synes ikke at være noget belæg for at anse de valgte begreber som repræsenterende opfattelsen blandt et flertal af befolkningen.



### Noter og litteraturhenvisninger

1. B. Sørensen, Comparative risk assessment of total energy systems. Proceedings of International Symposium on Health Impacts of different sources of energy, Nashville 1981. Udkommer fra det Internationale Atomenergiagentur, Wien, i 1982. Findes også i IMFUFA tekst nr. 43 (1981)
2. Disse billeder af et "vørst tænkeligt" uheld er fx at finde i stort set den her givne form i B. Sørensen, side 352-356 i "Atomernes hvem-hvad-hvor" (red.: H. Pedersen), Politikens Forlag 1974, og i B. Sørensen, side 205-232 i "Energi - inte endast en fråga om teknik", udgivet af Centrum för Tvärvetenskap, Göteborg 1974.
3. "Placeringsmuligheder for atomkraftværker vest for Storebælt", Miljøministeriet 1974.

4. Strålingsdoser angives her i enheden rad. Andre enheder er rem, som indbefatter strålingens biologiske effektivitet, og Gray. For de her betragtede strålingstyper kan rad og rem antages at være ens, mens der går 100 rad på én Gray (Gy). De citerede doser er helkrops- eller knoglemarvsdoser. Til illustration af skadevirkningerne kan følgende tjene:

Akutte skader: Tærskelværdien for knoglemarvsskader ligger ved ca. 100 rad hvis hele kroppen bestråles, men strålingen truer ikke livet før omkring 200 rad. Ved 300 rad er chancen for at overleve ca. 50%, og ved 500 rad er bestrålingen næsten med sikkerhed dødbringende, med mindre meget omfattende hospitalsbehandling kan sættes ind omgående.

Fosterskader: Radioaktiv bestråling giver risiko for fosterskader i svangerskabets første 2-3 måneder allerede ved doser omkring 1 rad. Ved 10 rad skades ét ud af 5 fostre.

Sensskader: Omkring ét dødsfald af leukæmi eller anden kræftsygdom pr. 10000 rem<sup>\$</sup>, samt mulighed for genetiske skader.

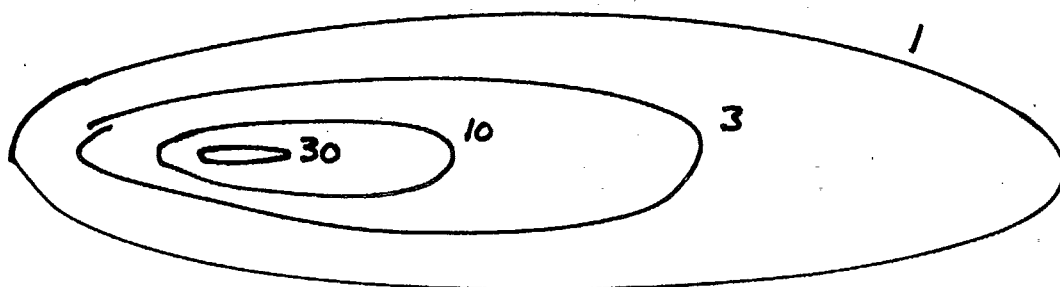
Se iøvrigt B. Lindell og S. Löfveberg, Kärnkraften, människan och säkerheten (Allmänna Förlaget, Stockholm 1972) og United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR: Sources and effects of ionizing radiation, New York 1977.

<sup>\$</sup> Uanset hvor mange mennesker denne dosis er fordelt på, og uanset i hvilket tempo de enkelte doser er modtaget.

5. Reactor Safety Study WASH-1400 (NUREG 75/014). United States Nuclear Regulatory Commission, Washington DC, 1975
6. Se fx H. Lewis m.fl., Risk Assessment Review Group Report to the US NRC, NUREG/CR-0400, United States Nuclear Regulatory Commission, Washington DC, 1978
7. Beregning af relevante individ- og befolkningsdoser på dansk territorium fra hypotetiske kernenedsmeltningsuheld. Risø-M-1905, Risø 1977
8. B. Sørensen, "Nuclear power: the answer that became a question. An assessment of accident risks", Ambio, vol. 8, No. 1, 1979, side 10-17
9. B. Lindell, Den svenska beredskapen mot olyckor vid kärnkraftverk. SSI:1977-033, Statens Strålskyddsinstitut, Stockholm.
10. J. Beyea, Some long-term consequences of hypothetical major releases of radioactivity to the atmosphere from Three Mile Island, Report to the president's Council on Environmental Quality, Princeton 1980
11. Radioaktiv landforurening på dansk område efter et eventuelt stort havari på Barsebäckværket. Miljøstyrelsen 1981
12. Side 59-60 i "Med fremtiden som indsats" (red.: Ø. Kyrø), Gyldendal 1975
13. Se ovenstående henvisninger 6 og 8.



BEREGNING:



VIRKELIGHED:

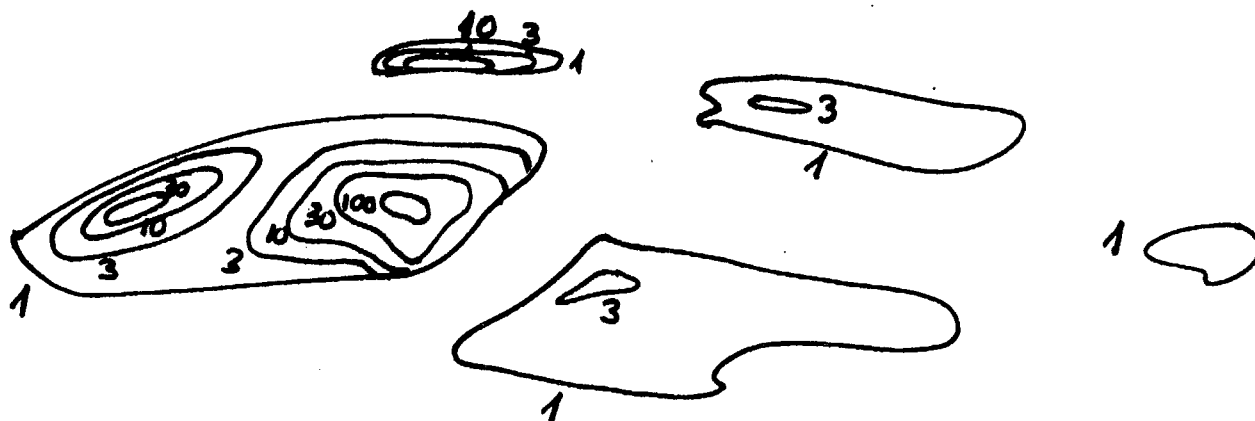


Fig. 1

Beregnete og virkelige dosiskonturer

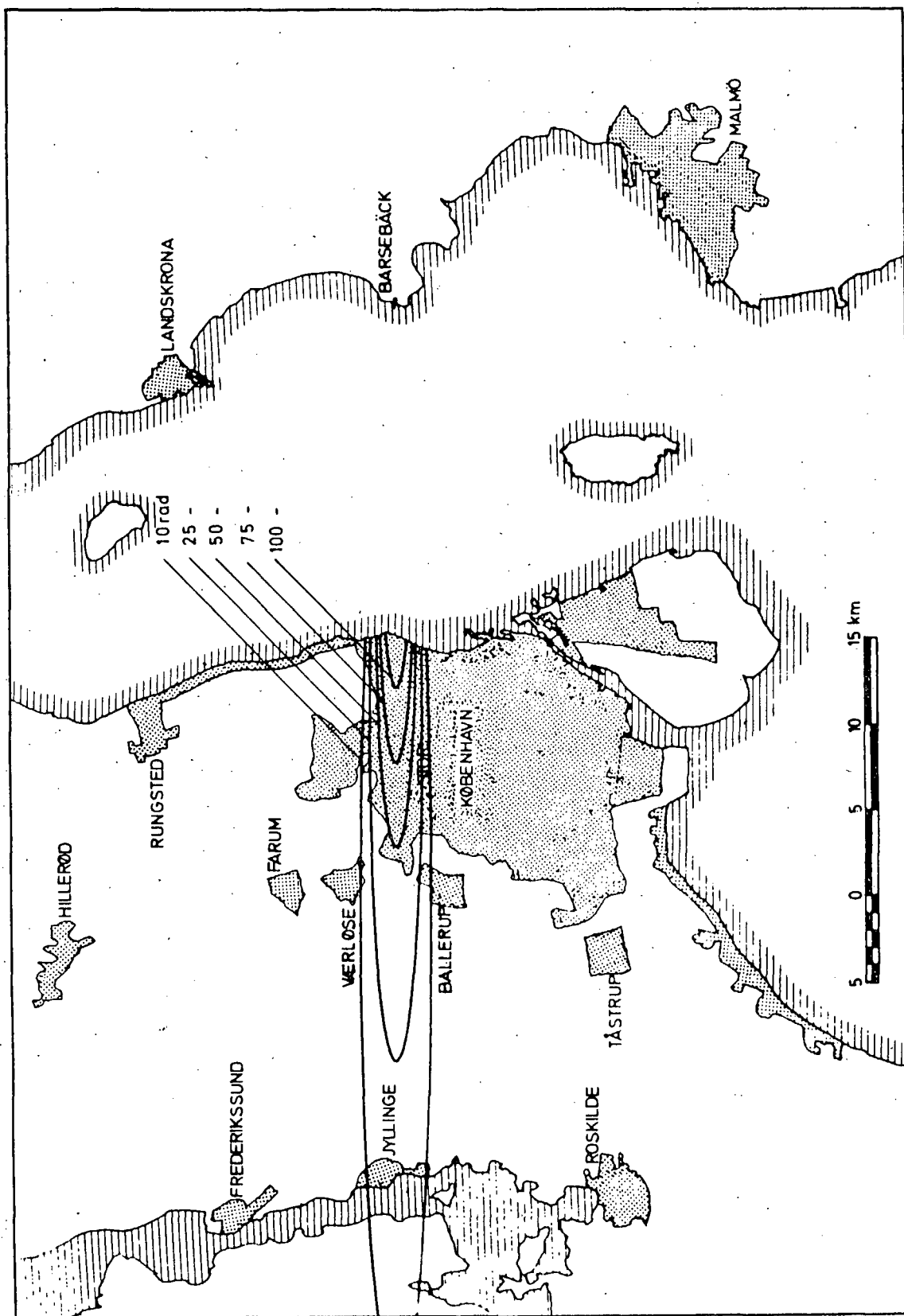


Fig. 2. Afskærmede knoglemarvsdoser fra BWR 1 uheld efter 72 timers ophold i området.

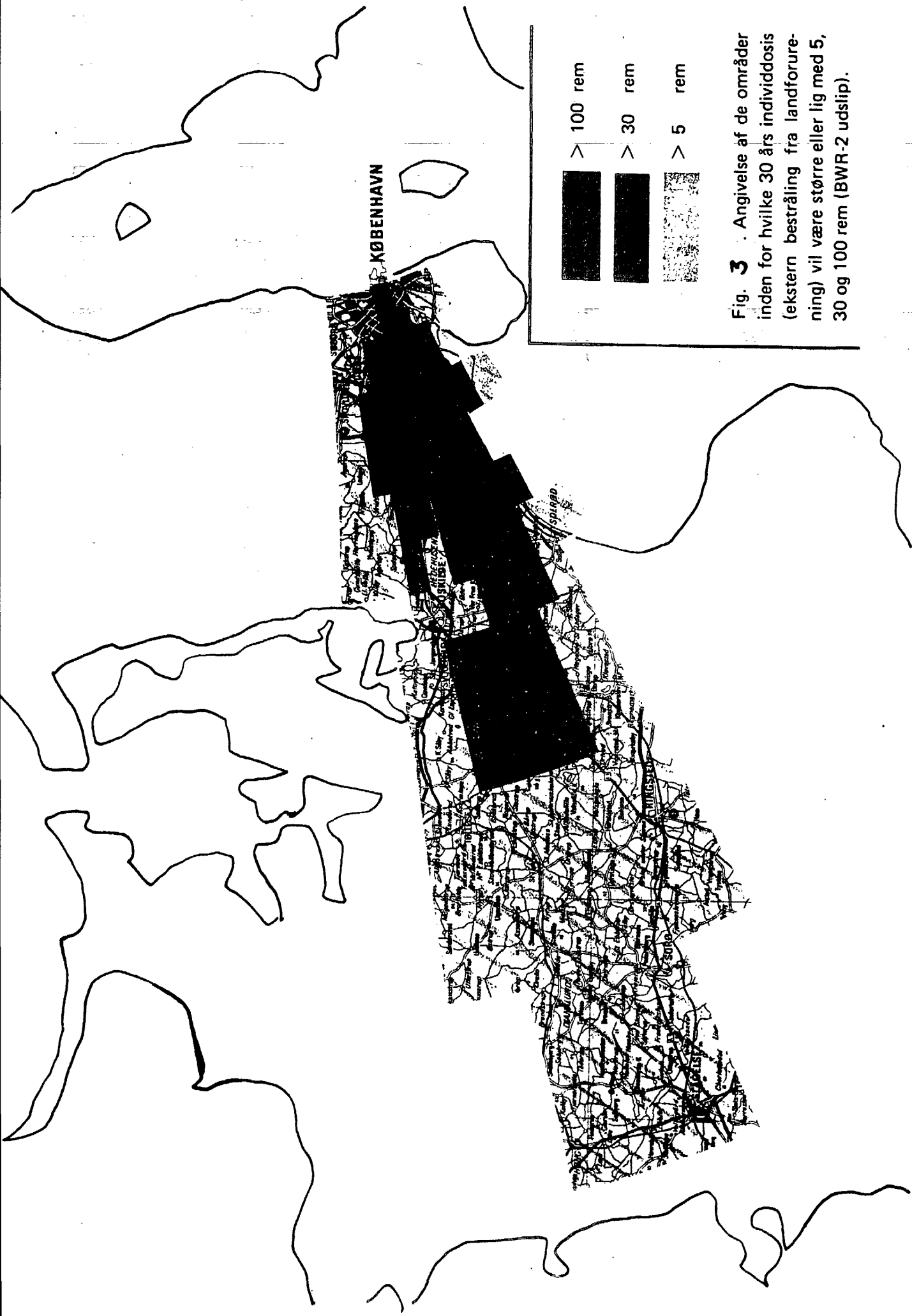


Fig. 3 . Angivelse af de områder inden for hvilke 30 års individdosis (ekstern bestråling fra landforurening) vil være større eller lig med 5, 30 og 100 rem (BWR-2 udslip).

- 1/78 "TANKER OM EN PRAKSIS" - et matematikprojekt  
Anne Jensen, Marianne Kesselhahn, Lena Lindenskov og Nicolai Lomholt.  
Vejleder: Anders Madsen.
- 2/78 "OPTIMERING" - Menneskets forøgede beherskellesmuligheder af natur og samfund.  
Projektrapport af Tom J. Andersen, Tommy R. Andersen, Gert Kreinøe og  
Peter H. Lassen. Vejleder: Bernhelm Booss
- 3/78 "Opgavesamling", breddekursus i fysik.  
Lasse Rasmussen, Aage Bonde Kræmmer, Jens Højgaard Jensen.
- 4/78 "Tre essays" - om matematikundervisning, matematiklæreruddannelsen og  
videnskabsrindalismen.  
Mogens Niss.
- 5/78 "BIBLIOGRAFISK VEJLEDNING til studiet af DEN MODERNE FYSIKS HISTORIE"  
Helge Kragh.
- 6/78 "Nogle artikler og debatindlæg om - læreruddannelse og undervisning i fysik,  
og - de naturvidenskabelige fags situation efter studenteroprøret"  
Karin Beyer, Jens Højgaard Jensen, Bent C. Jørgensen.
- 7/78 "Matematikens forhold til samfundsøkonomien"  
B.V. Gnedenko.

~~8/78 "DYNAMIK OG DIAGRAMMER". Introduktion til energy-bond-graph formalismen.  
Peder Voetmann Christiansen.~~

- 9/78 "OM PRAKSIS' INDFLYDELSE PÅ MATEMATIKKENS UDVIKLING"  
Motiver til Kepler's: "Nova Stereometria Doliorum Vinariorum"  
Projektrapport af Lasse Rasmussen.  
Vejleder: Anders Madsen.

- 
- 10/79 "TERMODYNAMIK I GYMNASIET"  
Projektrapport af Jan Christensen og Jeanne Mortensen  
Vejledere: Karin Beyer og Peder Voetmann Christiansen.
- 11/79 "STATISTISKE MATERIALER"  
red. Jørgen Larsen.
- 12/79 "Lineære differentialligninger og differentialligningssystemer"  
Mogens Brun Heefelt.
- 13/79 "CAVENDISH'S FORSØG I GYMNASIET". Projektrapport af Gert Kreinøe.  
Vejleder: Albert Chr. Paulsen.
- 14/79 "Books about Mathematics: History, Philosophy, Education, Models, System  
Theory, and Works of Reference etc. A Bibliography".  
Else Høyrup.
- 15/79 "STRUKTUREL STABILITET OG KATASTROFER i systemer i og udenfor  
termodynamisk ligevægt". Specialeopgave af Leif S. Striegler.  
Vejleder: Peder Voetmann Christiansen.

- 16/79 "STATISTIK I KRÆFTFORSKNINGEN". Projektrapport af Michael Olsen og Jørn Jensen.  
Vejleder: Jørgen Larsen.
- 17/79 "AT SPØRGE OG AT SVARE i fysikundervisningen"  
Albert Christian Paulsen.
- 18/79 "MATHEMATICS AND THE REAL WORLD", Proceedings of an International Workshop, Roskilde university centre (Denmark), 1978. Preprint.  
Bernhelm Booss & Mogens Niss (eds.).
- 19/79 "GEOMETRI, SKOLE OG VIRKELIGHED".  
Projektrapport af Tom J. Andersen, Tommy R. Andersen og Per H.H. Larsen.  
Vejleder: Mogens Niss.
- 20/79 "STATISTISKE MODELLER TIL BESTEMMELSE AF SIKRE DOSER FOR CARCINOGENE STOFFER".  
Projektrapport af Michael Olsen og Jørn Jensen.  
Vejleder: Jørgen Larsen.
- 21/79 "KONTROL I GYMNASIET - FORMÅL OG KONSEKVENSER".  
Projektrapport af Crilles Bacher, Per S. Jensen, Preben Jensen og Torben Nysteen.
- 22/79 "SEMIOTIK OG SYSTEMEGENSKABER (1)". 1-port lineært response og støj i fysikken.  
Peder Voetmann Christiansen.
- 23/79 "ON THE HISTORY OF EARLY WAVE MECHANICS - with special emphasis on the rôle of relativity".  
Helge Kragh.
- 24a/80 "MATEMATIKOPFATTELSEK HOS 2.G'ERE" 1. En analyse.
- 24b/80 "MATEMATIKOPFATTELSE HOS 2.G'ERE" 2. Interviewmateriale. Nr. 24 er UDSOLGT  
Projektrapport af Jan Christensen og Knud Lindhardt Rasmussen.  
Vejleder: Mogens Niss.
- 25/80 "EKSAMENSOPGAVER" Dybdemodulet/fysik 1974-79.
- 26/80 "OM MATEMATISKE MODELLER". En projektrapport og to artikler.  
Jens Højgaard Jensen m.fl.
- 27/80 "METHODOLOGY AND PHILOSOPHY OF SCIENCE IN PAUL DIRAC'S PHYSICS"  
Helge Kragh.
- 28/80 "DIELEKTRISK RELAXATION - et forslag til en ny model bygget på væskernes visco- elastiske egenskaber".  
Projektrapport, speciale i fysik, af Gert Kreinøe.  
Vejleder: Niels Boye Olsen.
- 29/80 "ODIN - undervisningsmateriale til et kursus i differentiailligningsmodeller"  
Projektrapport af Tommy R. Andersen, Per H.H. Larsen og Peter H. Lassen.  
Vejleder: Mogens Brun Heefelt. Nr. 29 er UDSOLGT
- 30/80 "FUSIONSENERGIEN - - - ATOMSAMFUNDETS ENDESTATION".  
Oluf Danielsen.
- 31/80 "VIDENSKABSTEORETISKE PROBLEMER VED UNDERVISNINGSSYSTEMER BASERET PÅ MÆNGDELÆRE"  
Projektrapport af Troels Lange og Jørgen Karrebæk.  
Vejleder: Stig Andur Pedersen.
- 32/80 "POLYMERE STOFFERS VISCOELASTISKE EGENSKABER - BELYST VED HJÆLP AF MEKANISKE IMPEDANS-MÅLINGER OG MÖSSBAUEREFFEKTMÅLINGER".  
Projektrapport, speciale i fysik, af Crilles Bacher og Preben Jensen.  
Vejledere: Niels Boye Olsen og Peder Voetmann Christiansen.

- 33/80 "KONSTITUERING AF FAG INDEN FOR TEKNISK-NATURVIDENSKABELIGE UDDANNELSER: I-II."  
Arne Jakobsen.
- 34/80 "ENVIRONMENTAL IMPACT OF WIND ENERGY UTILIZATION". ENERGY SERIES NO.1.  
Bent Sørensen.
- 35/80 "HISTORISKE STUDIER I DEN NYERE ATOMFYSIKS UDVIKLING".  
Helge Kragh.
- 36/80 "HVAD ER MENINGEN MED MATEMATIKUNDERVISNINGEN ?" Fire artikler.  
Mogens Niss.
- 37/80 "RENEWABLE ENERGY AND ENERGY STORAGE". ENERGY SERIES NO.2.  
Bent Sørensen.

---

38/81 "TIL EN HISTORIETEORI OM NATURERKENDELSE, TEKNOLOGI OG SAMFUND"  
Projektrapport af Erik Gade, Hans Hedal, Henrik Lau og Finn Physant.  
Vejledere: Stig Andur Pedersen, Helge Kragh og Ib Thiersen.

39/81 "TIL KRITIKKEN AF VÆKSTØKONOMIEN"  
Jens Højgaard Jensen.

40/81 "TELEKOMMUNIKATION I DANMARK - oplæg til en teknologivurdering".  
Projektrapport af Arne Jørgensen, Bruno Petersen og Jan Vedde.  
Vejleder: Per Nørgaard.

41/81 "PLANNING AND POLICY CONSIDERATIONS RELATED TO THE INTRODUCTION OF RENEWABLE  
ENERGY SOURCES INTO ENERGY SUPPLY SYSTEMS". ENERGY SERIES NO.3.  
Bent Sørensen.

---

42/81 "VIDENSKAB TEORI SAMFUND - En introduktion til materialistiske videnskabs-  
opfattelser".  
Helge Kragh og Stig Andur Pedersen.

43/81 1. "COMPARATIVE RISK ASSESSMENT OF TOTAL ENERGY SYSTEMS"  
2. "ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF DECENTRALIZATION"  
Bent Sørensen.

44/81 "HISTORISK UNDERSØGELSE AF DE EKSPERIMENTELLE FORUDSÆTNINGER FOR RUTHERFORDS  
ATOMMODEL". Projektrapport af Niels Thor Nielsen. Vejleder: Bent C. Jørgensen

---

45/82

46/82 "EKSEMPLARISK UNDERVISNING OG FYSISK ERKENDELSE - ILLUSTRERET VED TO EKSEMPLER"  
I+II  
Projektrapport af Lasse Rasmussen, Niels Dreyer Sørensen og Torben O. Olsen.  
Vejleder: Bent C. Jørgensen